

RICERCHE

Corpo vissuto ed esperienza virtuale. Una prospettiva fenomenologica

Martina Properzi^(α)

Ricevuto: 1 maggio 2019; accettato: 24 ottobre 2019

Riassunto Può la corporalità dirsi ancora una condizione costitutiva dell'esperienza nella presente era digitale? Esistono due fondamentali modi di affrontare la questione, la cui rilevanza è stata di recente sottolineata da ricercatori attivi nei campi dell'*Intelligenza Artificiale Incorporata*. Il primo interpreta la questione come incentrata su un'indagine della relazione fra corporalità e digitalizzazione, il processo cioè di digitalizzare dati il quale rende possibile simulare, aumentare e perfino costruire la realtà all'interno di uno spazio di esperienza virtuale (*realtà aumentata* e *realtà virtuale*), assumendo l'idea tradizionale del computing come un'attività che utilizza dispositivi artificiali, elettronici, per processare, gestire e comunicare informazioni. Il secondo considera la stessa relazione da una diversa prospettiva, facendo cioè riferimento al computing come a un'attività naturale, secondo l'emergente ricerca di *computing naturale* condotta nel campo del computing non convenzionale. Seguendo quest'ultima prospettiva, che sta acquisendo un crescente consenso all'interno della comunità scientifica, il lavoro indagherà il ruolo costitutivo della corporalità rispetto all'esperienza virtuale associata a una nota ed oramai autonoma area di ricerca del *computing naturale*, vale a dire il *computing morfologico*, utilizzando il metodo della fenomenologia genetica.

PAROLE CHIAVE: Computing naturale e computing artificiale; Corporeità; Morfologia naturale e morfologia artificiale; Fenomenologia genetica

Abstract *Lived Body and Virtual experience. A Phenomenological Perspective* – In what sense can corporality still be considered a constitutive condition for experience in the current digital age? Recent scholarship in the fields of *Embodied Artificial Intelligence* and the philosophy of *Embodied Artificial Intelligence* has probed the relevance of two approaches to this question. The first queries the relationship between corporality and digitization, i.e., examining how it is possible to simulate, augment, and even construct reality within a space of virtual experience (*Augmented Reality* and *Virtual Reality*) by digitizing data. This approach builds on the traditional idea of computing as an activity that uses artificial, mostly electronic, devices to process, manage, and communicate information. The second approach, increasingly favored by computer scientists, considers computing to be a natural activity, and approaches this same relationship from the perspective of emerging research in unconventional computing, specifically *Natural Computing*. This paper follows the latter approach, addressing the constitutive role of corporality in virtual experience associated with a well-known and still autonomous research area within *Natural Computing*, that is, *Morphological Computing*, from the point of view of genetic phenomenology.

KEYWORDS: Artificial and Natural Computing; Corporality; Natural and Artificial Morphology; Genetic Phenomenology

^(α)Dipartimento di Filosofia, Pontificia Università Lateranense, Piazza San Giovanni in Laterano, 4 – 00184 Roma (I)

E-mail: martinaproperzi@alice.it (✉)



PUÒ LA CORPORALITÀ DIRSI ANCORA una condizione costitutiva dell'esperienza nella presente era digitale? Esistono due fondamentali modi di affrontare tale questione, la cui rilevanza è stata di recente sottolineata da ricercatori attivi nel campo dell'*intelligenza artificiale incorporata*.¹ Il primo modo interpreta la questione come incentrata su un'indagine della relazione fra corporalità e digitalizzazione, il processo cioè di digitalizzare dati il quale rende possibile simulare, aumentare e perfino costruire la realtà all'interno di uno spazio di esperienza virtuale (*realtà aumentata e realtà virtuale*),² assumendo l'idea tradizionale della computazione come un'attività che utilizza dispositivi artificiali, elettronici, per processare, gestire e comunicare informazioni.³ Il secondo modo considera la stessa relazione da una diversa prospettiva, facendo cioè riferimento alla computazione come a un'attività naturale, secondo la ricerca emergente nel campo sul *computing naturale* condotta nel campo del *computing* non convenzionale. Entrambi gli approcci sono legittimi. Uno studio comparativo degli stessi è tuttavia ancora da realizzare, perlomeno alla luce della questione sollevata.⁴ A questo scopo, introduttivamente, presenterò le principali differenze fra i due approcci, delineando in particolare la diversa interpretazione proposta per la digitalizzazione e la connessa virtualizzazione dell'esperienza circostante.

■ Computing artificiale vs computing naturale

L'origine dell'area di ricerca nota oggi come *computing artificiale* risale allo sviluppo di modelli astratti di un computer digitale: non solo *Macchine di Turing*, ma anche modelli equivalenti che utilizzano il lambda calcolo, funzioni ricorsive e altre tecniche affini.⁵ L'implementazione di questi modelli, realizzata su supporti elettronici partire dagli anni '40 del XX secolo, ha aperto l'era dei dispositivi digitali. Come anticipato, in questo contesto digitalizzazione significa rappresentazione o, per meglio dire, modellizzazione digitale

dell'oggetto tramite una sua descrizione discretizzata che, istanziata nella forma fisica di segnale, rende possibile, fra l'altro, la *realtà aumentata* e la *realtà virtuale*.

Nel *computing artificiale* la *neurorealtà* fornisce oggi l'esempio di forse maggiore impatto teorico e tecnologico, puntando al superamento della distinzione fra realtà effettiva e *realtà virtuale* – quanto meno nel senso in cui tale distinzione è stata sino ad ora articolata – attraverso la creazione di un sistema centrale integrato analogico-digitale di elaborazione artificiale dell'informazione ambientale. In questa direzione la tendenza è già chiara: dispositivi digitali micro- e nanometrizzati, nello specifico *brain chips* bidirezionali, sostituiranno i tradizionali *tracking devices* della *realtà virtuale* e, insieme a una completa mappa funzionale del cervello umano e a tecniche di impianto non invasive, permetteranno in un prossimo futuro la messa a punto di un'innovativa interfaccia *whole-brain/computer*. Lo scopo principale di questa tecnologia è il controllo del comportamento umano, del *coupling* sensomotorio, quindi dell'interazione fra corpo biologico e ambiente circostante. Come sottolinea il fondatore di *EyeMynd*, D. Cook, ciò significa in primo luogo sottrarre evidenze ad una costituzione genuinamente corporea dell'esperienza sensoriale: «puoi dimenticarti del tuo corpo umano animato e focalizzarti solo su ciò che accade di fronte a te».⁶ Dove «ciò che accade di fronte a te» è un nuovo tipo di *realtà virtuale* ad alto contenuto tecnologico indotta da dispositivi bidirezionali e biocompatibili, impiantati in modo non invasivo, i quali interfacciano direttamente con l'intero cervello umano. Lungo questa linea, uno dei membri fondatori di *Neuralink*, F. Sabes, afferma che «non abbiamo bisogno di capire il cervello per fare progressi ingegneristici».⁷ Vale a dire, è sufficiente implementare il progetto ingegneristico («to get neurons to talk to computers») e l'*apprendimento automatico* sostituirà lo studio delle dinamiche cerebrali/comportamentali («Machine Learning can do much of the rest»)⁸.

Quest'ultima idea, in particolare, è avversata dagli esponenti del *computing naturale*. Come anticipato, il *computing naturale* è una ricerca emergente nel campo del *computing* non convenzionale. Quest'ultimo nasce alla fine degli anni '90 con l'obiettivo di superare la teoria della computabilità classica, la cosiddetta *Turing-computability Theory*, in particolare la tesi di Church-Turing e il suo significato per la fisica del *computing*.⁹ I curatori dello *Handbook of Natural Computing*, G. Rozenberg, T. Bäck e J.N. Kok, forniscono la seguente definizione del *computing naturale*:

il campo di ricerca che indaga sia il *computing* progettato ispirato dalla natura che la computazione che si svolge in natura, essa indaga cioè modelli e tecniche computazionali ispirati dalla natura e anche fenomeni che si verificano in natura in termini di processamento dell'informazione.¹⁰

Ai nostri fini, l'aspetto da porre in evidenza è il seguente: il *computing naturale* esprime una *computazione intrinseca* in cui l'organizzazione spontanea in natura, il modo cioè in cui le correlazioni sono organizzate all'interno di un sistema dinamico complesso, è usata come base per il *computing* progettato dall'essere umano o *computing artificiale*, il quale, in questo caso, può essere implementato sia su tradizionali supporti elettronici sia su supporti alternativi (sistemi fisici non elettronici, per esempio, quantistici, ottici, ecc., sistemi chimici e/o biologici).¹¹ I diagrammi elaborati da C. Horsman, S. Stepney, R. Wagner e V. Kendon per rappresentare il *computing* come attività fisica consentono di visualizzare la relazione fra i livelli astratto e fisico caratteristica della computazione intrinseca.¹² La relazione è in questo caso rappresentata da un diagramma commutativo composto che descrive una relazione duale di modellizzazione dell'organizzazione naturale, vale a dire la codifica astratto \rightarrow fisico e la decodifica fisico \rightarrow astratto, la quale precede la relazione duale di istanziazione fisica del modello computazionale astratto visualizza-

bile nel diagramma commutativo della figura 1. Quest'ultima è caratteristica del *computing progettato* o *computing artificiale*. Come chiariscono gli autori, la direzione della relazione fra i livelli astratto e fisico nel *computing artificiale* inverte la direzione della relazione fra i livelli tipica delle scienze naturali matematizzate.¹³

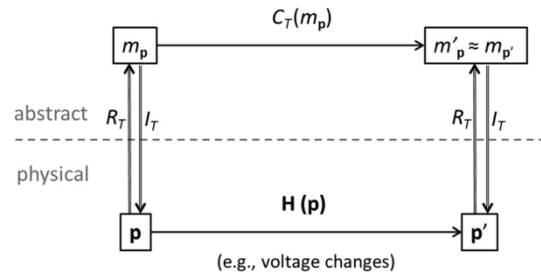


Figura 1. Diagramma commutativo che descrive la relazione fra livello fisico e astratto nel *computing* progettato. *Computing Artificiale* stabilita dalla teoria *T*. L'evoluzione o dinamica del sistema astratto da uno stato iniziale (m_p) a uno stato finale (m'_p) è descritta da C_T . L'evoluzione o dinamica del sistema fisico da uno stato iniziale (p) a uno stato finale (p') è descritta da H . R_T è la relazione di modellizzazione o decodifica fisico \rightarrow astratto. I_T è la relazione di istanziazione o codifica astratto \rightarrow fisico. Fonte: V.C. MÜLLER, M. HOFFMANN, *What Is Morphological Computation? On How the Body Contributes to Cognition and Control*, in: «Artificial Life», vol. XXIII, n. 1, 2017, pp. 1-24, qui p. 9.

Su queste basi è dato capire come la computazione intrinseca non coincida né con il *computing ubiquo*, il quale esplora «il potenziale 'di implementare il *computing* ovunque'»,¹⁴ né con il cosiddetto *offloaded computing*, in cui memorizzazione/processamento dell'informazione sono distribuiti, affidati cioè a parti non centrali del sistema. Essa va inoltre distinta dal *pancomputazionalismo*, la prospettiva teorica secondo cui ogni evento/processo in natura è di carattere computazionale.¹⁵ Nel *computing naturale* è infatti il riferimento al modo "intrinseco" in cui i sistemi naturali memorizzano/processano informazione a determinare il superamento della rigida distinzione fra *software* e *hardware* tipica del *computing artificiale*, quindi dell'interpretazione del virtuale che lo contraddistingue. Il virtuale è

re-interpretato come predizione basata su un modello di organizzazione spontanea, in questo senso dunque una predizione *non a priori*, dell'evoluzione del sistema fisico, la quale è usata a sua volta per predire l'evoluzione del sistema astratto.¹⁶ Semplificando, si può dire che nel contesto del *computing naturale* il virtuale è esperienza anticipatoria della dinamica fisica, tanto quella temporale generativa di informazione storica, quanto quella adattativa generativa di informazione spaziale.

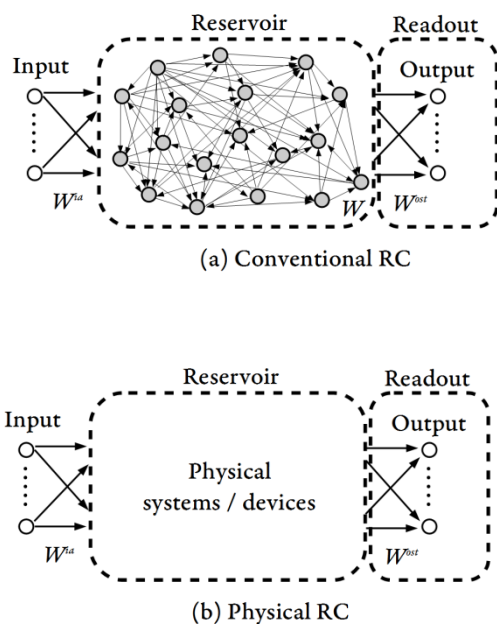


Figura 2. Approccio convenzionale e fisico al *reservoir computing*. (a) Nei sistemi convenzionali di *reservoir computing* il *reservoir* è basato su RNR. (b) Nei sistemi di *physical reservoir computing* il *reservoir* descrive un sistema/dispositivo fisico, per meglio dire naturale (fisico, chimico e/o biologico). Fonte: G. TANAKA, T. YAMANE, J. B. HÉROUX, R. NAKANE, N. KANAZAWA, S. TAKEDA, H. NUMATA, D. NAKANO, A. HIROSE, *Recent Advances*, cit., p. 6.

Concludendo questo paragrafo, l'aspetto da evidenziare è quello per cui, a differenza del *computing artificiale*, il *computing naturale* simula un'ampia classe di sistemi dinamici complessi, prospettando con ciò una rinascita dell'estetica, specificamente dell'estetica feno-

menologica, come tenterò di mostrare, quale dimensione costitutiva, fondativa. Secondo quanto anticipato, l'indagine si focalizzerà sulle basi fenomenologiche dell'esperienza associata al *computing morfologico*.

Nel presente articolo il tema della costituzione corporale dell'esperienza virtuale sarà affrontato nella prospettiva del *computing naturale*, una prospettiva che sta acquisendo crescente consenso all'interno della comunità scientifica.¹⁷ Schematicamente, nella seconda sezione introdurrò la componente genetica o esplicativa del metodo fenomenologico come strumento utile per trattare il suddetto tema in relazione al presente stato delle scienze computazionali. Nella terza sezione proporrò uno studio genetico dell'esperienza associata al *computing morfologico* cellula-mediato che ha recentemente permesso la riproduzione della curvatura corneale in artefatti ottenuti con bio-stampa 3D a partire da un modello di cornea naturale umana. Concluderò questo lavoro con una quarta sezione in cui argomenterò a favore di una transizione, nell'ambito dell'orizzonte costitutivo genetico cosiddetto "primordiale", l'orizzonte cioè passivo corporeo, da dati associativi a dati selettivi e da temporalità a dinamicità adattativa come, rispettivamente, materia e forma primaria dell'esperienza virtuale naturale associata al *computing morfologico*.

Metodo

Come noto, la fenomenologia husserliana è lo studio filosofico, descrittivo e costitutivo, delle strutture intenzionali della mente nella misura in cui esse sono "vissute" dal(i) soggetto(i), vale a dire (auto)coscientemente esperite (esperienza in prima persona).¹⁸ "Intenzionale" indica in generale il potere della mente di essere diretta verso un oggetto o uno stato di cose. L'intenzionalità fenomenologica è specificamente "direzionalità verso" l'essere essenziale dell'oggetto (o stato di cose), il quale, in virtù della perfetta conversione *salva veritate* dei termini soggetto e predicato, si "auto-dà" (*selbst gibt*) come fenomeno "idea-

to", contenuto cioè di un'intuizione ideale o eidetica (*eidetisch*).¹⁹

Come noto, oltre alla riduzione eidetica (*eidetische Reduktion*) del dato all'idea auto-dato, base metodica della fenomenologia descrittiva, a partire dal 1913, con la pubblicazione cioè del primo libro delle *Ideen zur einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie*,²⁰ un ulteriore passo metodico è introdotto da Husserl: (il sistema della "riduzione fenomenologica" (*phänomenologische Reduktion*) o "epoché fenomenologica" (*phänomenologische epoché*), base metodica della fenomenologia costitutiva.²¹ Nella sua prima formulazione, quella cosiddetta "cartesiana", la riduzione fenomenologica è sospensione metodica, *epoché* dell'attitudine naturale sia ordinaria sia scientifica nell'esperienza del dato. Una tale attitudine esperienziale (*Einstellung*) è metodicamente sospesa, disattivata o neutralizzata a scopo fondativo. Il livello interessato dall'*epoché* fenomenologica è quindi quello tematico, il livello cioè dell'attitudine naturale in quanto tematicamente espressa nei giudizi fattuali concernenti l'esserci (*dasein*) dell'oggetto (o stato di cose) nel mondo attuale.²²

Nel corso del secondo decennio del XX secolo, in una fase ormai matura della propria riflessione, Husserl introduce il metodo genetico con l'obiettivo di sviluppare una "nuova estetica trascendentale" come impresa fondativa.²³ Questo progetto di ricerca nasce dalla necessità di condurre un'indagine "regressiva" (*rückfragen*) sulle formazioni logiche e ontologiche, in particolare sul nesso sistematico della scienza, oltre il livello "astratto" della logica trascendentale approfondito dall'autore in particolare nell'opera del 1929 *Formale und transzendente Logik*.²⁴ L'estetica trascendentale fenomenologica indaga così l'origine del significato e dell'oggetto (o stato di cose) nella sfera ante-predicativa, una sfera pre-logica e pre-ontologica.

Un'estesa presentazione del metodo genetico implicherebbe il riferimento agli aspetti metodologici complementari statico e generativo, i quali, tuttavia, non possono essere

trattati in questo articolo.²⁵ Così, per semplificare, mi limiterò a richiamare i caratteri distintivi del metodo genetico insieme ai tre significati distinti da Husserl riguardo alla nozione di "genesi", l'origine/evoluzione dei vissuti intenzionali. Per le finalità specifiche del presente articolo queste considerazioni sono rilevanti nella misura in cui esse evidenziano un percorso storiografico-concettuale verso una formulazione dell'estetica trascendentale fenomenologica la quale è in grado di interpretare le questioni fondative emergenti nel settore di ricerca del *computing morfologico*.

Metodo genetico e i tre significati della nozione husserliana di "genesi"

Il metodo genetico approfondisce l'analisi descrittiva e la costituzione fenomenologiche attraverso una spiegazione "pura", vale a dire non naturalistica e quindi non causale, dei fenomeni di coscienza. In questo modo, i puri nessi motivazionali, le leggi cioè genetiche, sono rilevate e studiate. Adottando una prospettiva regressiva, l'indagine husserliana si applica anche e soprattutto all'originario momento d'indistinzione di atto e oggetto allo stadio primitivo della coscienza percettiva, mostrando l'origine e quindi l'evoluzione dei due poli della relazione intenzionale nel contesto di esperienze vissute "complesse" (intenzionalità percettiva + intenzionalità di ordine superiore).

Husserl distingue (1) una genesi attiva che occorre all'interno della sfera indicata come attiva dell'esperienza; (2) una genesi collocata fra le sfere attiva e passiva dell'esperienza; (3) una genesi primordiale all'interno della sfera passiva dell'esperienza.²⁶ La distinzione fra attività e passività è tracciata da Husserl in relazione al poter costitutivo dell'io, il potere cioè di sintetizzare o identificare l'oggetto: se la sintesi oggettuale occorre all'interno della sfera dell'auto-coscienza soggettiva, essa genera una esperienza attiva del (l'oggetto come) correlato intenzionale. Per altro verso, se l'identificazione dell'oggetto dipende dall'originaria e universale coscienza temporale, quindi dalla legalità associativa del corpo vissuto (*Leib*), la corrispon-

dente esperienza è di carattere passivo. Generalizzando, è possibile affermare che, stando all'approccio husserliano, la genetica fenomenologica presuppone la fenomenologia descrittiva e costitutiva riformulate, rispettivamente, come descrizione e costituzione statiche alla luce della complementarità esistente fra le dimensioni metodologiche statica e genetica.

■ Fondazioni del computing morfologico: il metodo genetico in contesto

Un orientamento generalmente condiviso nel settore degli studi fondazionali sul *computing morfologico* è quello di affrontare problemi paradigmatici per l'approccio di *computing artificiale*, come per esempio il *symbol grounding problem*²⁷ e il *frame-of-reference problem*,²⁸ attraverso uno studio rivolto alle strutture che si trovano alla base dei linguaggi computazionali perché definibili a un livello minimale, vale a dire sub-simbolico e pre-progettuale. In questo contesto, gli studi meta-computazionali più aggiornati si concentrano su strutture di cognizione enattiva.²⁹

Tentando di risolvere problemi quali la fondazione del significato dei simboli che compongono i linguaggi di programmazione (*symbol grounding problem*) in relazione all'agente e non al programmatore esterno al sistema computazionale (*frame-of-reference problem*), la prospettiva enattiva abbandona la nozione di rappresentazione simbolica, in taluni casi persino quella di rappresentazione minimale (*minimal representation*).³⁰ L'attenzione si concentra allora su una «forma percettivamente basata di intelligenza online che genera l'azione 'attraverso complesse interazioni causali in un sistema esteso corpo-ambiente'».³¹

Come sottolineano T. Froese e T. Ziemke,³² ciò implica un indebolimento del ruolo trascendentale, fondativo della fenomenologia applicata allo studio meta-computazionale. Infatti, le strutture enattive sono strutture d'interazione causale, come tali trattabili in termini naturalistici in linea con il programma di ricerca di naturalizzazione. Quest'ultimo mira ad integrare le scienze non-naturali, in

special modo le scienze umane, all'interno di «un *framework* esplicativo in cui ogni proprietà accettabile è resa continua con le proprietà ammesse dalle scienze naturali».³³ Una questione aperta concerne quindi la possibilità di costruire e/o confermare teorie scientifico-naturali in grado di spiegare anche «dati fenomenologici», l'esperienza cioè vissuta nei suoi molteplici aspetti.³⁴ Tuttavia, come avrò modo di illustrare nella prossima sezione, quando adeguatamente riformulato, il progetto trascendentale avviato da Husserl a livello genetico può essere adattato al presente scenario scientifico in vista, specificamente, di una fondazione dell'emergente settore di ricerca del *computing morfologico*.

■ Fenomenologia

Nell'era della computazione come scienza naturale il ruolo trascendentale dell'io appare fortemente indebolito. Come si è visto, infatti, il *computing naturale* interpreta l'oggetto astratto e quello fisico, nonché la loro interazione, tramite relazioni inverse di codifica/decodifica e corrispondenti composizioni. Una nozione cattura il riferimento di tali relazioni all'osservatore del sistema computazionale rappresentante la fonte di significato dei dati di sistema, la nozione cioè di «agente»: le relazioni commutative dipendono *oggettivamente*, vale a dire risultano trattabili matematicamente e quindi rigorosamente (approccio di ricerca in terza persona), da un'entità che le interpreta, per l'appunto l'agente.³⁵ I più aggiornati studi meta-computazionali relativi in particolare al *computing morfologico* propongono una definizione della nozione la quale è applicabile tanto a sistemi biologici, quanto a sistemi non-biologici fisici e/o chimici: l'agente è in questa prospettiva «un sistema capace di agire», di compiere cioè per lo meno un'operazione di *computing*, «per conto proprio».³⁶

L'approccio di ricerca in prima persona della fenomenologia trascendentale consente di analizzare l'esperienza vissuta associata alla nozione di agente, l'esperienza di un'agattività corporea dispiegata nel conte-

sto di un ambiente ad alto contenuto tecnologico. Alla luce di questa nuova prospettiva emergono le seguenti distinzioni essenziali concernenti l'agente, quindi diversi modi dell'azione computazionale da esso performati. Vale a dire, (1) La distinzione fra utente finale (*final user*) e progettista (*designer*); (2) La distinzione fra attore (*actor*), utente finale e progettista.

Considerando la prima distinzione, il computer naturale/morfologico è adoperabile solo secondo il modo di utilizzo (*employment*) dell'utente finale; mentre il programma – da intendersi qui *lato sensu* – a base naturale è programmabile in base al modo di progettazione (*design*) riferibile al *designer* o progettatore. Il primo (*employment*) rivela le relazioni di codifica/decodifica come costitutive, fondative nell'accezione fenomenologica della sintesi trascendentale dell'oggetto, nel senso della finalità, della teleologia, poiché il computer naturale è *utile per un utente finale* che lo utilizzi. D'altro canto, il secondo (*design*) mostra la costituzione oggettiva come immediata, vale a dire immediatamente generata a livello astratto o modellistico e implementata dalla relazione di codifica, in quanto il programma a base naturale è *progettato da un designer*. Due diverse formazioni vanno quindi distinte, l'agente finale e quello immediato. Nell'eseguire un'attività che comporta per lo meno un'operazione di computazione intrinseca *l'attore computa* nel corso del proprio comportamento, la dinamica o evoluzione di sistema (fisico). La seconda distinzione aggiunge così all'agente finale e immediato un'altra formazione, l'agente dinamico.

Questi dati essenziali, sia materiali sia formali-general, possono essere meglio compresi tramite lo studio di un caso esemplificativo: la fase di ri-modellizzazione cellula-mediata della curvatura corneale in artefatti recentemente prodotti con tecnica di bio-stampa 3D dal gruppo di ricerca guidato da C.J. Connon presso l'Istituto di Medicina Genetica dell'Università di Newcastle. Partirò da questo caso di studio per esaminare le

formazioni dell'agente immediato, dinamico e finale, mostrando come, con l'adozione di un punto di vista genetico, queste formazioni, insieme alle corrispondenti distinzioni materiali fra progettatore, attore e utente finale, riappaiono unificate all'interno della correlazione concreta agente-ambiente. In particolare, il mio intento sarà quello di porre in evidenza l'essenza concreta dell'oggetto sintetizzato all'interno di un'esperienza passiva di tipo artificiale.

■ Un caso di studio: la fase di ri-modellizzazione cellula-mediata della curvatura in cornee artificiali

La ricerca condotta dal gruppo guidato da Connon si distingue per risultati computazionali e conquiste tecnologiche. Partendo da quest'ultime, brevemente, come in parte già anticipato, il gruppo di ricerca ha utilizzato una tecnica avanzata di bio-stampa 3D per ingegnerizzare strutture corneali artificiali. Sotto questo rispetto, quindi, il passo in avanti compiuto concerne il settore dell'ingegneria tessutale, con la realizzazione di protesi corneali sintetiche che, nel breve e medio termine, garantiranno un'alternativa praticabile al trapianto. Nelle speranze dei ricercatori, il *gap* esistente fra domanda ed offerta dell'organo trapiantabile sarà così colmato. Il principale ambito applicativo della tecnologia è quindi quello della medicina rigenerativa.³⁷

Ai fini del presente lavoro, di maggiore interesse sono però i risultati computazionali dello studio. In questa direzione, i primi dati da evidenziare riguardano l'attività di progettazione. Il gruppo di ricerca ha costruito un modello di cornea umana usando una *Scheimpflug* camera rotante dotata di un cheratoscopio (disco di placido). Il modello ottenuto è stato poi discretizzato grazie al metodo a elementi finiti.³⁸ La fase di progettazione si è conclusa con la codifica di un tale modello a base naturale: nelle vesti di *designer*, i ricercatori hanno dato così corpo alla formazione dell'agente immediato, contradd-

distinta, come si è appena visto, dalla generazione immediata a livello astratto della relazione di codifica del modello naturale.

Alla fase di progettazione ha fatto seguito l'uso del modello computazionale naturale. In questa fase di applicazione l'artefatto corneale bio-fabbricato è un supporto fisico, un hardware cioè alternativo. In dettaglio, il gruppo di ricerca ha indotto nella cornea artificiale un processo di ri-modellizzazione cellula-mediato della curvatura simmetrica rotazionale che, nell'organo naturale, attualizza il potere protettivo corneale consentendo rifrazione ottica.³⁹ Intesi come possibili utenti finali di un tale sistema di *computing morfologico* – tornerò a breve su questo punto –, (futuri) pazienti con impianti di protesi corneali sintetiche manifestano la finalità della costituzione come legge formale-generale: la costituzione appare infatti qui incorporata nella riacquisita capacità dell'occhio di rifrangere e trasmettere raggi di luce incidente, capacità che nell'individuo condiziona l'espressione di un comportamento visivo normale, non patologico.

Utilizzando tessuti stromali bio-fabbricati per generare la matrice di fibrille allineate di collagene e alginato dell'artefatto corneale, il gruppo di ricerca guidato da Connon ha riprodotto la microarchitettura dell'organo naturale. La creazione di un tessuto corneale altamente organizzato e funzionale è stata ottenuta sfruttando solamente la forma curvata del sostrato plastificato dell'artefatto dotato di un sottilissimo rivestimento enzima-sensitivo, senza aggiuntivi segni topografici. I cheratociti corneali sono stati così indotti ad allinearsi e a depositare la matrice extra-cellulare (fibrille di collagene e alginato) secondo un'organizzazione equivalente al tessuto naturale.⁴⁰ Questa strategia di formazione di *pattern* è un esempio di *computing morfologico*: implementa infatti un modello di *physical reservoir computing* con un meccanismo di *readout hardware*-basato. Essa consente di evidenziare la formazione dell'agente dinamico rivelata dai cheratociti corneali, la cui morfologia, il tessuto cioè stromale bio-fabbricato altamente organizzato e funzionale, è effettivamente usata dai ricercatori per realiz-

zare una computazione intrinseca, il processamento cioè progettato degli scambi spontanei di informazione incorporati negli scambi di energia-materia (rivestimento enzima-sensitivo del sostrato plastificato) che il bio-fabbricato stabilisce con l'ambiente interno (matrice cellulare) ed esterno (matrice extra-cellulare).

■ Verso una fenomenologia della morfologia artificiale

Dall'analisi condotta nel precedente paragrafo è possibile derivare una serie di risultati. Innanzitutto, come *instance* di un modello di progettazione (*design model*) la cornea artificiale è un oggetto immediato che non esercita alcuna forza motivazionale nei confronti del progettatore o *designer* che la rappresenta. D'altro canto, come oggetto dinamico, essa non mostra ancora quelle proprietà ottiche e funzionali necessarie ai fini della *performance* di un comportamento visivo. Come oggetto finale, infine, la cornea artificiale è solo un prodotto (fabbricato di bio-stampa 3D) da testare in vista della futura fruizione da parte di un utente finale. I nessi motivazionali emergono quando il potere ottico dell'artefatto corneale è attualizzato nell'esercizio effettivo della visione.

Nell'agente umano la rifrazione e la trasmissione dei raggi di luce incidente effettuata dalla cornea – insieme a umor acqueo, cristallino e umor vitreo – producono un'immagine invertita ridotta sulla retina la quale, nell'arco di un processamento neurale che ha luogo nella corteccia visiva esteso ad appena qualche centinaio di millisecondi, è di fatto connessa a un contenuto prominente del campo visivo dell'agente. Tale connessione occorre di norma tramite operazioni di riscontro basato su modello (*template matching*) e di raggruppamento (*pooling*)⁴¹ appartenenti alla sfera passiva dell'esperienza, operazioni che si basano su relazioni di indicazione per mezzo di segni. È questa rappresentazione minimale basata-su-indice, utile per l'agente perché di bassa complessità di campione (*sample complexity*),⁴² a motivare, determinare cioè nel senso della legalità trascendentale genetica,

l'identificazione e la categorizzazione visive di oggetti prominenti, nonostante i mutevoli dati ambientali a cui l'agente ha sensorialmente accesso, per esempio, le variazioni di illuminazione e posizione dell'oggetto visivo.⁴³

La struttura appena evidenziata è alla base della memoria e aspettazione visive a breve termine coinvolte in quello che Husserl chiama il "presente vivente" (*lebendige Gegenwart*), il momento cioè presente della coscienza soggettiva, il quale corrisponde qui alla risposta adattativa "forte" innescata dal *coupling* sensomotorio, quindi dall'interazione fra corpo biologico e ambiente circostante. Nel nostro caso di studio, la tecnologia di *computing morfologico*, vale a dire la cornea artificiale, svolge le attività dell'organo naturale (rifrazione e trasmissione di raggi di luce incidente), supportando quindi l'intelligenza visiva umana. Come nella visione naturale, la transizione verso nuovi oggetti e categorie visive segue la processualità dei cambiamenti adattativi che interessano la correlazione dinamica corpo biologico-ambiente circostante, cambiamenti che producono tanto gradualmente quanto improvvise transizioni di contesti di senso.

■ Un *focus* sulla genesi primordiale

Nella sezione metodologica abbiamo visto come nel contesto del programma di ricerca di estetica trascendentale inaugurato nel secondo decennio del secolo Husserl identifichi lo studio della genesi primordiale con una fenomenologia dell'associazione. Tuttavia, su tali basi, alcuni fra i più rilevanti risultati recentemente conseguiti in particolare nel settore delle neuroscienze della visione non risultano tematizzabili. Infatti, come rilevato nel precedente paragrafo, il processamento neurale degli *input* che ha luogo nella corteccia visiva umana è controllato, a livello passivo o primordiale, da una dinamica di riconoscimento invariante (identificazione e categorizzazione basate-su-indice) la quale coinvolge rappresentazioni minimali che non sono associative ma selettive, discriminative riguardo a dati ambientali varianti. Conside-

riamo da vicino questa serie di passaggi.

Husserl guarda all'associazione come a una originaria e universale costituzione o sintesi temporale dell'oggetto, tale in quanto lavora all'interno della sfera passiva dell'esperienza. Qui la temporalità appare come una forma universale di connessione la quale stabilisce un ordinamento totale di dati sensoriali ("*hyletici*")⁴⁴ prominenti e materialmente uniformi, i quali occorrono come varietà (*Mannigfaltigkeiten*) fluenti. Da notare come, secondo l'autore, la temporalità in-formi il campo spaziale e quindi quello cinestetico: è quest'ultimo a determinare i dati pre-prominenti e materialmente non ancora uniformi appartenenti a quello che Husserl chiama l'"orizzonte" (*Horizont*) dell'aspettazione sensoriale. Infatti, motivando una reazione motoria, il dato *hyletico*, l'*input* cioè sensoriale, attiva il sistema cinestetico, il suo campo operativo, pre-orientando in questo modo il corso sensoriale indeterminato dell'intenzionalità percettiva e, quindi, un orizzonte relativamente libero di intenzioni anticipatorie o aspettative.⁴⁵

Tuttavia, già nel corso della prima decade del secolo l'essenza concreta dell'oggetto invariante, quindi la pura legalità che ne regola il riconoscimento, sono state approfondite da pionieristiche ricerche genetiche le quali rappresentano un aspetto rilevante della fase produttiva centrale, la prima d'interesse fenomenologico, del fenomenologo tedesco Max Scheler.⁴⁶

Scheler ha evidenziato una regolarità di tipo selettivo, discriminativo di dati *hyletici* prominenti e materialmente simili, ma non uniformi, regolarità stabilita sopra una fondamentale forma di dinamicità adattativa, la "variazione" (*Variation*) del sistema corpo biologico-ambiente circostante.⁴⁷ La variazione ordina parzialmente dati pre-prominenti secondo un puro "divenire-altro" (*Anderswerden*) e, come tale, vale a dire come ordinamento parziale in cui non tutti i dati sono necessariamente in relazione fra di loro, è fondazionalmente anteriore rispetto all'ordinamento di successione dove i dati sono invece totalmente ordinati:

Nel concetto della “variazione” quale puro “divenire-altro” non è inclusa alcuna traccia di un tempo che renda possibile il divenire-altro e, tanto meno, di un’alterazione fisica; manca del tutto l’implicazione d’una “successione” in questo divenire-altro.⁴⁸

Secondo Scheler, il dato acquista prominenza quando soggetto all’ordinamento parziale di variazione. La relazione che è alla base della distinzione fra un *background* e un *foreground* sensoriali all’interno dell’intenzionalità percettiva è descritta in vari luoghi della prima opera fenomenologica scheleriana come “somiglianza” (*Ähnlichkeit*). Per esempio, nella *Biologievorlesung* tenuta come privato docente all’Università di Monaco nel semestre invernale dell’anno accademico 1908-1909:

Non è necessario che rappresentazioni simili debbano essere state nella coscienza affinché si giunga alla cosiddetta riproduzione tramite somiglianza [...] Per ciò è sufficiente piuttosto che una cosa A (ad es. una sfera di pietra rossa) sia stata data all’individuo in un fenomeno qualsiasi (contenuto visivo sfera rossa) che abbia attivato in lui determinati stimoli e processi nervosi r_{α} ; e che una cosa B (altra sfumatura di rosso e più grande, vetro), la quale è obbiettivamente simile ad A, eserciti in parte gli stessi stimoli $r_{\alpha\beta}$: allora sarà dato all’individuo un fenomeno, il quale nel fenomeno è identico ad α .⁴⁹

Nel passo citato, la connotazione oggettiva attribuita da Scheler alla relazione di somiglianza si chiarisce quando il senso dell’anti-rappresentazionalismo qui espresso («non è necessario che rappresentazioni simili debbano essere state nella coscienza affinché si giunga alla cosiddetta riproduzione tramite somiglianza») venga esplicitato. Esso non si riferisce alla rappresentazione *tout court*, ma alla sua interpretazione come fenomeno interno alla coscienza, alla quale Scheler oppone un’interpretazione basata sulla funzione di rinvio propria del segno, in particola-

re del segno-indice.⁵⁰ Attivato contestualmente alla dinamica adattativa del sistema corpo biologico-ambiente circostante, il rinvio indessicale opera la selezione dei dati prominenti che, strutturati secondo la relazione di somiglianza, compongono la materia del percetto a cui si applicano l’ordinamento temporale (successione) e spaziale (co-esistenza), quindi le forme morfologiche (sfera esperienziale ante-predicativa) e quelle oggettive (sfera esperienziale predicativa).⁵¹

Riassumendo, Scheler propone una transizione da dati associativi a dati selettivi e da temporalità a dinamicità adattativa come, rispettivamente, materia e forma primaria dell’orizzonte fondativo corporeo connesso all’esperienza passiva. Ciò gli consente di evidenziare l’essenza concreta dell’oggetto invariante, apportando anticipatamente un contributo decisivo a quella che, circa un decennio dopo, sarà l’indagine genetica husserliana. Per concludere questo breve articolo, in quanto segue mostrerò come la proposta scheleriana possa essere usata per una fondazione del *computing morfologico*, al di là quindi della sua originaria applicazione alla (fondazione della) fisiologia/psicologia della senso-percezione, così come dell’applicazione suggerita alle contemporanee neuroscienze della visione umana.

Considerazioni conclusive

Come rilevato nella sezione introduttiva, sistemi standard di *computing morfologico* sono sistemi di *physical reservoir computing* in cui il *reservoir*, il sistema dinamico astratto che garantisce il *mapping* degli *input* su spazi di stati di dimensionalità di ordine superiore, descrive la dinamica di sistemi naturali, sia fisici e/o chimici, sia biologici. Oltre alla dimensionalità di ordine superiore (*high-dimensionality*), le altre due principali proprietà dei sistemi di *physical reservoir computing* sono la non-linearità (*non-linearity*) e la memoria evanescente (*fading memory*).⁵²

Iniziando dalla prima, la dimensionalità di ordine superiore consente di separare in-

put per task di classificazione, nonché di visualizzare *pattern* spaziotemporali in *task* predittivi. La non linearità trasforma invece *input* da non linearmente a linearmente separabili in *task* di classificazione ed estrae dipendenze non lineari in *task* predittivi. Infine, la memoria evanescente garantisce la dipendenza dello stato di riserva solo da *input* recenti⁵³ in *task* di rappresentazione che concernono dati sequenziali.

Semplificando, si può dire che i sistemi di *physical reservoir computing* individuano (dimensionalità di ordine superiore) e selezionano (non linearità) matrici di peso – le quali, come noto, esprimono l'efficacia di connessione ("sinaptica") degli *input* in una *realità naturale* –, producendo quei cambiamenti adattativi (memoria evanescente) necessari per addestrare i pesi del meccanismo di *readout* – che può essere anche un meccanismo *hardware-based*, come si è visto nel caso del *computing morfologico* cellula-mediato impiegato nella riproduzione della curvatura in cornee artificiali –, il quale "legge", vale a dire (fisicamente) interpreta, i *pattern* spaziotemporali prodotti.

Seguendo la prospettiva adottata in questo articolo, la prospettiva cioè trascendentale della fenomenologia genetica, i sistemi di *physical reservoir computing* del *computing morfologico* possono essere considerati sotto una luce diversa rispetto a quella tipica delle contemporanee scienze computazionali focalizzate sulla prestazione, quindi sulla potenza di calcolo dei sistemi. Essi possono infatti essere studiati come elementi interagenti del *coupling* sensomotorio, analizzato in accordo ai principi dell'analisi motivazionale genetica. In questa direzione, un risultato da evidenziare è l'essenza concreta dell'oggetto invariante quale legge genetico-essenziale che regola la sintesi passiva dell'oggetto nell'interazione agente-ambiente ad alto contenuto tecnologico contraddistinta dalla presenza di perlomeno un sistema di *physical reservoir computing*. Come si è appena visto, in un tale sistema l'interpretazione (fisica) affidata al meccanismo di *readout* addestrato interessa *pattern*

spaziotemporali emergenti dallo sviluppo a un ordine superiore di connessioni non lineari di *input* parzialmente ordinati, "vicini nel recente passato". Una volta realizzato il summenzionato *shift* di prospettiva (dai sistemi computazionali come portatori di potenza di calcolo ai sistemi computazionali come elementi interagenti del *coupling* sensomotorio), allora, la legge genetico-essenziale di selezione dei dati varianti può essere riconosciuta come regolante la sintesi oggettiva che fornisce un fondamento trascendentale all'interpretazione (fisica) operata dal meccanismo addestrato di *readout* nei sistemi di *physical reservoir computing* del *computing morfologico*. Benché preliminare, il risultato discusso apre uno spazio di ricerca nel contesto dei più avanzati studi fondazionali sul *computing morfologico* precedentemente introdotti, evidenziando la centralità che la prospettiva trascendentale della fenomenologia genetica può acquisire in vista, segnatamente, di un loro futuro sviluppo.

Per concludere questo articolo, recuperando la questione introduttivamente sollevata, alla luce del percorso analitico svolto è possibile affermare che la corporalità si dimostra essere una condizione costitutiva dell'esperienza associata alla generazione emergente di sistemi non convenzionali di *computing morfologico* nella presente era del *computing* come scienza naturale.

Note

¹ In particolare si vedano: H.L. DREYFUS, *Why Heideggerian AI Failed and How Fixing It Would Require Making It More Heideggerian*, in: «Artificial Intelligence», vol. CLXXI, n. 18, 2007, pp. 1137-1160; T. FROESE, T. ZIEMKE, *Enactive Artificial Intelligence: Investigating the Systemic Organization of Life and Mind*, in: «Artificial Intelligence», vol. CLXXIII, n. 3-4, 2009, pp. 466-500.

² La *realità aumentata* mira ad arricchire la percezione sensoriale umana tramite un aumento/diminuzione artificiale del flusso d'informazioni ambientali affidato a dispositivi fissi (per esempio, personal computer con webcam) o mobili (per esempio, smartphone oppure occhiali a

proiezione sulla retina). Diversamente, nella *realtà virtuale* è l'informazione artificiale a essere preponderante rispetto a quella ambientale. In questo caso, infatti, dispositivi mobili come visori, guanti, tute, ecc. muniti di tecnologie computazionali – in particolare dispositivi che tracciano la posizione dell'oggetto all'interno di coordinate spaziali e quindi l'orientamento sensorimotorio dell'utente che le indossa – garantiscono la costruzione più o meno realistica di un ambiente circostante tridimensionale ed interattivo rispetto al(i) sistema(i) sensoriale(i) dell'utente. Queste caratteristiche, note come presenza e immersione (nel caso in cui tutti i sistemi sensoriali siano coinvolti), si stanno oggi evolvendo in un vero e proprio controllo, un regolamento cioè del funzionamento, del *coupling* sensorimotorio per mezzo di nuove tecnologie di interfaccia (cfr. *infra*). Nella cosiddetta *neurorealtà*, per esempio, il flusso d'informazioni ambientali è artificialmente mediato da *brain chips* bidirezionali: l'esperienza percettiva, non solo il suo contenuto, diventa così virtuale. Ciò sembra imporre un ripensamento della nozione stessa di "realtà". Si veda K. HOUSER, *Neuroreality: The New Reality is Coming. And It's a Brain Computer Interface*, in: «Futurism.com.», 26 luglio 2017, ultimo accesso 17 dicembre 2018. URL: <https://futurism.com/neuroreality-the-new-reality-is-coming-and-its-a-brain-computer-interface>.

³ La nozione di "computazione" si riferisce all'uso (o allo studio) del computer come dispositivo di memorizzazione e processamento dell'informazione. Come tale, essa è usualmente distinta dalla nozione di computazione ("*computation*"), la quale connota più in generale il calcolo non necessariamente svolto tramite operazioni matematiche e/o da un computer.

⁴ Per uno studio comparativo di natura tecnica si veda: G. DODIG-CRANKOVIC, M. BURGİN, *Unconventional Algorithms: Complementarity of Axiomatics and Construction*, in: «Entropy», vol. XIV, n. 11, 2012, pp. 2066-2080.

⁵ Cfr. R. TURNER, *Machines*, in: E. ZENIL (ed.), *A Computable Universe. Understanding and Exploring Nature as Computation. Foreword by Sir Roger Penrose*, World Scientific Publishing, Singapore 2013, pp. 63-76. In breve, una *Macchina di Turing* è un modello astratto, una descrizione o rappresentazione formale, di una macchina capace di eseguire algoritmi, procedimenti cioè terminanti ed effettivi di *problem-solving*, contraddistinti da un numero

finito di passi elementari e non ambigui, i quali sono detti dunque Turing-computabili. La nota tesi di Church-Turing assume l'equivalenza dei modelli classici di algoritmo summenzionati ed esclude la possibilità di modelli di algoritmo non-Turing-computabili. Afferma infatti che qualsiasi algoritmo è modellizzabile con una *Macchina di Turing*.

⁶ Citato in K. HOUSER, *Neuroreality*, cit. (trad. it. mia).

⁷ Citato in T. URBAN, *Neuralink and the Brain's Magical Future*, in: «Wait but Why», 20 aprile 2017. Accesso in data 19 dicembre 2018. URL: <https://waitbutwhy.com/2017/04/neuralink.html> (trad. it. mia).

⁸ Cfr. *ibidem*.

⁹ Cfr. C.S. CALUDE, *Unconventional Computing: A Brief Subjective History*, in: «CDMTCS Report», vol. 480, 2015, pp. 1-10. I modelli di computazione non convenzionale generano *output* non Turing-computabili attraverso la simulazione di un'ampia classe di sistemi dinamici complessi caratterizzata da evoluzione temporale (dinamica di sistema) ed adattativa (dinamica sistema-ambiente). Per un'introduzione alla teoria dei sistemi dinamici complessi cfr. A. JUARRERO, *Complex Dynamical Systems Theory*, in: «Cognitive Edge», 8 giugno 2010, ultimo accesso 24 aprile 2019 - URL: old.cognitive-edge.com/wp-content/uploads/2010/06/100608-Complex-Dynamical-Systems-Theory.pdf. La loro importanza è connessa al discusso declino della legge di Moore (invalidata per la prima volta dai dati del 2000), una legge di scala per tecnologie digitali introdotta nel 1965 dal co-fondatore di *Intel* Gordon Moore, la quale descrive un trend empirico: il numero dei transistor in un circuito integrato raddoppia approssimativamente ogni due anni. Come è stato osservato, alla luce dell'attuale fisica dello stato solido, «entro il 2020 la velocità, scala spaziale, dimensione di circuito, dissipazione energetica e manifattura richieste dalla legge di Moore non saranno più sostenibili» (J.P. CRUTCHFIELD, W.L. DITTO, S. SINHA, *Introduction to Focus Issue: Intrinsic and Designed Computation: Information Processing in Dynamical Systems-Beyond the Digital Hegemony*, in: «Chaos», vol. XX, n. 3, 2010, pp. 1-6, citazione a p. 1 (trad. it. mia)).

¹⁰ G. ROZENBERG, T. BÄCK, J.N. KOK (eds.), *Handbook of Natural Computing*, Springer, Berlin/Heidelberg 2012, p. v (trad. it. mia).

¹¹ Per un'analisi tecnica si veda: J.P. CRUTCHFIELD, *The Calculi of Emergence: Computation,*

Dynamics, and Induction, in: «Physica D», vol. LXXV, 1994, pp. 11-54. Misure di organizzazione spontanea sono generalmente indicate come complessità strutturale. Come tali, esse sono distinte dalla complessità deterministica o misura dei gradi di casualità (*randomness*), vale a dire non-predicibilità, del sistema dinamico complesso. La complessità strutturale espressa in termini non analitici, calcolata cioè induttivamente dall'osservazione di configurazioni (sequenze di simboli) del modello astratto (per esempio, una ϵ -macchina, una rappresentazione cioè ottimale, minimale e unica del processo generato dal sistema, oppure, come si vedrà a breve, un *reservoir*), è computazione intrinseca. In merito, cfr. D.P. FELDMAN, C.S. MCTAGUE, J.P. CRUTCHFIELD, *The Organization of Intrinsic Computation: Complexity-Entropy Diagrams and the Diversity of Natural Information Processing*, in: «arxiv [nlin.CD]», 29 giugno 2008; ultimo accesso in data 7 febbraio 2019. URL: <https://arxiv.org/pdf/0806.4789.pdf>.

¹² Cfr. C. HORSMAN, S. STEPNEY, R.C. WAGNER, V. KENDON, *When Does a Physical System Compute?*, in: «Proceedings of the Royal Society A», vol. CDLXX, n. 2169, 2014, pp. 1-25.

¹³ Cfr. *ivi*, pp. 9-12.

¹⁴ R. PFEIFER, J. BONGARD, *How the Body Shapes the Way We Think. A New View of Intelligence*, MIT Press, Cambridge (MA) 2007, p. xxii - trad. it. mia.

¹⁵ Cfr. M. PROPERZI, *On the Role of Quantum Computing in Grounding Morphological Complexity*, in: «International Journal of Current Advanced Research», vol. VII, n. 9, 2018, pp. 15444-15448, qui p. 15444.

¹⁶ Cfr. S. MARZEN, *Intrinsic Computation of a Monod-Wyman-Changeux Molecule*, in: «Entropy», vol. XX, n. 8, 2018, pp. 1-13, p. 1.

¹⁷ Cfr. P.J. DENNING, *Computing is a Natural Science*, in: «Communication of the ACM», 2007, vol. L, n. 7, pp. 13-18; L. KARI, G. ROZENBERG, *The Many Facets of Natural Computing*, in: «Communication of the ACM», vol. LI, n. 10, 2008, pp. 72-83; H. ZENIL (ed.), *A Computable Universe*, cit.; G. DODIG-CRNKOVIC, R. GIOVAGNOLI (eds.), *Computing Nature: Turing Centenary Perspective*, Springer, New York 2013.

¹⁸ Cfr. A. ALES BELLO, *Introduzione alla fenomenologia*, Aracne, Roma 2009; S. GALLAGHER, *Phenomenology*, Palgrave Macmillan, Basingstoke 2012.

¹⁹ Cfr. E. HUSSERL, *Logische Untersuchungen. Zweites Buch: Untersuchungen zur Phänomenologie und Theorie der Erkenntnis* (1901), in: E.

HUSSERL, *Gesammelte Werke*, Bd. XIX, hrsg. von U. PANZER, Nijhoff, Den Haag 1984.

²⁰ E. HUSSERL, *Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie. Erstes Buch: Allgemeine Einführung in die reine Phänomenologie* (1913), in: E. HUSSERL, *Gesammelte Werke*, Bd. III/I, hrsg. von K. SCHUMANN, Nijhoff, Den Haag 1976.

²¹ Cfr. E. HUSSERL, *Zur phänomenologischen Reduktion. Texte aus dem Nachlass (1926-1935)*, in: E. HUSSERL, *Gesammelte Werke*, Bd. XXXIV, hrsg. von S. LUFT, Kluwer, Dordrecht 2002. Si veda anche: S. LUFT, *Husserl's Theory of the Phenomenological Reduction: Between Lifeworld and Cartesianism*, in: «Research in Phenomenology», 2004, vol. XXXIV, pp. 198-234.

²² Cfr. E. HUSSERL, *Ideen*, cit., § 32.

²³ Cfr. E. HUSSERL, *Erfahrung und Urteil. Untersuchungen zur Genealogie der Logik* (1939), hrsg. von L. Landgrebe, Meiner, Leipzig 1999; E. HUSSERL, *Analysen zur passiven Synthesis. Aus Vorlesungs- und Forschungsmanuskripten (1918-1926)*, in: E. HUSSERL, *Gesammelte Werke*, Bd. XI, hrsg. von M. FLEISCHER, Nijhoff, Den Haag 1966.

²⁴ E. HUSSERL, *Formale und transzendente Logik. Versuch einer Kritik der logischen Vernunft* (1929), in: E. HUSSERL, *Gesammelte Werke*, Bd. XVII, hrsg. von P. JANSSEN, Nijhoff, Den Haag 1974.

²⁵ Per il rapporto fra metodo statico (analisi descrittiva e costituzione) e metodo genetico (analisi motivazionale) si veda: E. HUSSERL, *Analysen zur passiven Synthesis*, cit., pp. 336-345. Il metodo generativo (analisi teleologica) non è esplicitamente elaborato da Husserl. Ciononostante, la distinzione fra il contesto tematico genetico e quello generativo è da egli tratteggiata. Si veda: E. HUSSERL, *Cartesianische Meditationen und Pariser Vorträge*, in: E. HUSSERL, *Gesammelte Werke*, Bd. I, hrsg. von S. STRASSER, Nijhoff, Den Haag 1973, p. 163. Fenomeni generativi sono inoltre oggetto dei manoscritti husserliani dei gruppi A, C, E. Per un'introduzione a questi temi si vedano: A.J. STEINBOCK, *Generativity and the Scope of Generative Phenomenology*, in: D. WELTON (ed.), *The New Husserl: A Critical Reader*, Indiana University Press, Bloomington 2003, pp. 289-325; D. WELTON, *Genetic Phenomenology*, in: G. STANGHELLINI, M. BROOME, A.V. FERNANDEZ, P. FUSAR-POLI, A. RABALLO, R. ROSFORT (eds.), *The Oxford Handbook of Phenomenological Psychopathology*, Oxford University Press, Oxford 2018, pp. 225-234.

²⁶ Cfr. E. HUSSERL, *Erfahrung und Urteil*, cit.; E.

HUSSERL, *Analysen zur passiven Synthesis*, cit.

²⁷ Cf. S. HARNAD, *The Symbol Grounding Problem*, in: «Physica D», vol. XLII, 1990, pp. 335-346; M. TADDEO, L. FLORIDI, *The Symbol Grounding Problem: A Critical Review of Fifteen Years of Research*, in: «Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence», vol. XVII, n. 4, 2005, pp. 419-445. La più celebre formulazione del problema è quella fornita da Harnad nell'articolo del 1990: «come si può rendere intrinseca l'interpretazione semantica di un sistema simbolico formale piuttosto che parassitaria rispetto ai significati nella nostra testa? Come possono i significati di *token* simbolici privi di significato, manipolati esclusivamente in base alla loro (arbitraria) forma, essere fondati su nient'altro che simboli privi di significato?» (S. HARNAD, *The Symbol Grounding Problem*, cit., p. 335 - trad.it. mia).

²⁸ Cf. D.C. DENNETT, *Cognitive Wheels: The Frame Problem of AI*, in: C. HOOKWAY (ed.), *Minds, Machines, and Evolution: Philosophical Studies*, Cambridge University Press, Cambridge 1984, pp. 129-151; M. SHANAHAN, *The Frame Problem*, in: E.N. ZALTA (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Winter Edition 2016, ultimo accesso 8 gennaio 2019 - URL: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2016/entries/frame-problem/>. Il problema è originariamente formulato come problema di natura matematico-formale. J. Mc Carthy e P.J. Hayes lo introducono in *Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence* del 1969, in relazione alla difficoltà di usare la logica del primo ordine per l'espressione di fatti riguardanti un robot collocato nel mondo (cfr. J. MCCARTHY, P.J. HAYES, *Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence*, in: B. MELTZER, D. MICHIE (eds.), *Machine Intelligence*, vol. IV, Edinburgh University Press, Edinburgh 1969, pp. 463-502). In particolare, a questo fine si renderebbe necessario un ampliamento della base assiomatica del sistema formale con l'assunzione di assiomi che garantiscano la non arbitraria modificazione dell'ambiente. Accanto a questa formulazione rigorosa gli autori forniscono una formulazione generica: il problema indica la difficoltà di riprodurre nel contesto dell'*intelligenza artificiale* le rappresentazioni cognitive caratteristiche dell'*intelligenza naturale*.

²⁹ Per una panoramica dello stato corrente degli studi in questa direzione si veda: G. DODIG-CRNKOVIC, *Cognition as Embodied Morphological Computation*, in: V.C. MÜLLER (ed.), *Philosophy and Theory of Ar-*

tificial Intelligence, Springer, Cham 2018, pp. 19-23.

³⁰ Cf. S. GALLAGHER, *Are Minimal Representations Still Representations?*, in: «International Journal of Philosophical Studies», vol. XVI, n. 3, 2008, pp. 351-369.

³¹ *Ivi*, p. 353 - trad. it. mia.

³² Cf. T. FROESE, T. ZIEMKE, *Enactive Artificial Intelligence*, cit., p. 476.

³³ J.-M. ROY, J. PETITOT, B. PACHOUD, F.J. VARELA, *Beyond the Gap: An Introduction to Naturalizing Phenomenology*, in: J. PETITOT, F.J. VARELA, B. PACOUD, J.-M. ROY (eds.), *Naturalizing Phenomenology: Issues in Contemporary Phenomenology and Cognitive Science*, Stanford University Press, Stanford (CA) 1999, pp. 1-80, pp. 1-2 - trad. it. mia. Si veda, inoltre, D. ZAHAVI, *Naturalized Phenomenology*, in: S. GALLAGHER, D. SCHMICKING (eds.), *Handbook of Phenomenology and Cognitive Science*, Springer, Dordrecht 2010, pp. 2-19; S. GALLAGHER, *On the Possibility of Naturalizing Phenomenology*, in: D. ZAHAVI (ed.), *Oxford Handbook of Contemporary Phenomenology*, Oxford University Press, Oxford 2012, pp. 70-93; D. ZAHAVI, *Naturalized Phenomenology: A Desideratum or a Category Mistake*, in: «Royal Institute of Philosophy Supplement», vol. LXXII, 2013, pp. 23-42; L. ALBERTAZZI, *Naturalizing Phenomenology: A Must Have?*, in: «Frontiers in Psychology», vol. IX, Art. Nr. 1933, 2018 - doi: 10.3389/fpsyg.2018.01933.

³⁴ Cf. J.-M. ROY, J. PETITOT, B. PACHOUD, F.J. VARELA, *Beyond the Gap*, cit., p. 2.

³⁵ Cf. C. HORSMAN, S. STEPNEY, R.C. WAGNER, V. KENDON, *When Does a Physical System Compute?*, cit. pp. 14-16.

³⁶ G. DODIG-CRNKOVIC, R. HAUGWITZ, *Reality Construction*, cit., p. 214 - trad. it. mia.

³⁷ Cf. A. ISAACSON, S. SWIOKLO, C.J. CONNOR, *3D Bioprinting*, cit., pp. 188-189.

³⁸ Cf. *Ivi*, pp. 189-190.

³⁹ Cf. *Ivi*, pp. 190-193.

⁴⁰ Cf. R.M. GOUVEIA, E. KOUDOUNA, J. JESTER, F. FIGUEIREDO, C.J. CONNOR, *Template Curvature Influences Cell Alignment to Create Improved Human Corneal Tissue Equivalents*, in: «Advanced Biosystems», vol. I, n. 12, 2017, Art. Nr. 1700135 - doi: 10.1002/adbi.201700135.

⁴¹ Cf. A. TACCHETTI, L. ISIK, T.A. POGGIO, *Invariant Recognition Shapes Neural Representations of Visual Input*, in: «Annual Review of Vision Science», vol. IV, 2018, pp. 403-422, in particolare p. 406.

⁴² La complessità di campione o *sample complexity* è «il numero di esempi necessario per calcolare

che una funzione target sia all'interno di un dato tasso d'errore» (*ivi*, p. 409 - trad. it. mia).

⁴³ Cfr. *ivi*, pp. 404-407.

⁴⁴ Come è stato rilevato, «il termine “*hyle*” è stato introdotto da Husserl nel §85 del primo libro delle *Ideen*. Husserl individua qui due significati non adeguatamente differenziati nell'uso ordinario dell'aggettivo “sensoriale”, che si riferisce infatti sia a ciò che è mediato attraverso i “sensi” nella percezione esterna, sia al contenuto qualitativo-sensoriale dell'oggetto percettivo. Al fine di evidenziare la differenza fra i due significati, egli propone per il primo significato l'adozione della parola greca “*hyle*”: i dati *hyletici* sono i contenuti delle funzioni sensoriali, come tali distinti dalle qualità sensoriali del percetto. Husserl ravvisa inoltre due versanti speculari nella materialità del percetto, il versante conoscitivo e il versante assiologico, alla base dei quali individua due diversi gruppi di dati *hyletici*: il gruppo delle sensazioni sensoriali, quali vista, udito, tatto, ecc., e il gruppo dei sentimenti sensoriali, quali dolore, piacere, fatica, ecc. Nel secondo libro delle *Ideen* entrambi i gruppi di dati sensoriali riappaiono in connessione con l'analisi del corpo animato (*Leib*)» (M. PROPERZI, *Materia e forma nella prima estetica fenomenologica di Max Scheler*, in: «Rivista internazionale di Filosofia e Psicologia», vol. IX, n. 2, 2018, pp. 162-177, qui p. 163).

⁴⁵ Cfr. E. HUSSERL, *Analysen zur passiven Synthesis*, cit., pp. 10-15.

⁴⁶ Cfr. M. PROPERZI, *Materia e forma*, cit., pp. 163-164, qui pp. 170-171.

⁴⁷ «Per essere una scienza rigorosamente fondata, la biologia in generale (in particolare la fisiologia) dovrebbe sempre partire [...] dalla *relazione fondamentale dell'organismo con il suo ambiente*. Questa relazione è *costitutiva* per l'essenza del processo vitale, consistendo il processo nelle *variazioni dina-*

miche che condizionano sia le modificazioni dell'organismo, sia quelle dell'ambiente. Queste modifiche sono dunque sempre contemporaneamente condizionate dalle variazioni dei processi tra O ed A (cioè tra Organismo e Ambiente» (M. SCHELER, *Der Formalismus in der Ethik und die materiale Wertethik. Neuer Versuch der Grundlegung eines ethischen Personalismus* (1916), in: M. SCHELER, *Gesammelte Werke*, Bd. II, hrsg. von M. SCHEU SCHELER, Francke, Bern-München 1980⁶, p. 168 (trad. it. *Il formalismo nell'etica e l'etica materiale dei valori. Nuovo tentativo di fondazione di un personalismo etico*, a cura di R. GUCCINELLI, Bompiani, Milano 2013, p. 317, corsivi nell'originale).

⁴⁸ *Ivi*, p. 385 (trad. it. p. 753).

⁴⁹ M. SCHELER, *Biologievorlesung (1908/09)*, in: M. SCHELER, *Gesammelte Werke*, Bd. XIV, hrsg. von M.S. FRINGS, Bouvier, Bonn 1993, pp. 257-367, qui pp. 300-301 (trad. it. mia).

⁵⁰ È in particolare nel saggio edito postumo *Lehre von den drei Tatsachen* che Scheler parla del carattere selettivo o “analizzatorio” della sensorialità, giustificando tale carattere alla luce di una sua interpretazione rappresentazionale centrata sulla funzione di rinvio dell'indice (sensazione-segno). Si veda: M. SCHELER, *Lehre von den drei Tatsachen*, in: M. SCHELER, *Gesammelte Werke*, Bd. X, hrsg. von M.S. FRINGS, Francke, Bern-München 1986³, pp. 431-474.

⁵¹ M. SCHELER, *Reine Tatsache und Kausalbeziehung (Phänomenologie und Kausalerklärung)*, in: M. SCHELER, *Gesammelte Werke*, Bd. X, cit., pp. 475-492.

⁵² Cfr. G. TANAKA, T. YAMANE, J. B. HÉROUXC, R. NAKANE, N. KANAZAWA, S. TAKEDA, H. NUMATA, D. NAKANO, A. HIROSE, *Recent Advances*, cit., p. 10.

⁵³ Più precisamente, la dipendenza dello stato di riserva è da *input* “vicini nel recente passato”, vale a dire parzialmente ordinati.